



**Fiqih Jul Fachri<sup>1</sup>**  
**Dhemi Harlan<sup>2</sup>**  
**Joko Nugroho<sup>3</sup>**  
**Ana N. Chaidar<sup>4</sup>**

## **ANALISIS KINERJA SALURAN PENGALIHAN BANJIR PADA DAS SIKAMBING KOTA MEDAN**

### **Abstrak**

Dalam rentang periode 2015 hingga 2024, Kota Medan mengalami 14 kejadian banjir yang menunjukkan rata-rata kejadian banjir setiap tahunnya. Salah satu penyebab utama dari kejadian banjir ini adalah meluapnya aliran Sungai Sikambing selama periode hujan tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, dibangun saluran pengalihan di area hulu Sungai Sikambing dengan tujuan mengalihkan debit banjir sebesar 30 m<sup>3</sup>/dtk ke Sungai Belawan. Untuk menilai kinerja saluran pengalihan banjir, penelitian ini ditingkatkan dari hasil perencanaan sebelumnya dengan analisis hidrologi dan permodelan hidrodinamik menggunakan HEC-RAS 2D, yang diterapkan pada kondisi debit desain periode ulang 25, 50, dan 100 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja saluran pengalihan mampu mereduksi debit banjir rata-rata sebesar 21,79%, reduksi luas genangan rata-rata sebesar 48,75%, reduksi waktu kejadian banjir rata-rata sebesar 35,56% dan penurunan kedalaman banjir rata-rata hingga 0,21 m. Meskipun saluran pengalihan ini efektif dalam mereduksi debit banjir pada semua kondisi, terdapat selisih sebesar 4,75% dari rencana reduksi debit banjir yang dilakukan sebelumnya. Penelitian ini diharapkan dapat mengevaluasi kinerja saluran pengalihan untuk pengendalian banjir di DAS Sikambing Kota Medan.

**Kata Kunci:** Pengendalian Banjir, Saluran Pengalihan Banjir, Permodelan HEC-RAS 2D.

### **Abstract**

In the period from 2015 to 2024, the city of Medan experienced 14 flood events, indicating an average occurrence of floods each year. One of the main causes of these flood events is the overflow of the Sikambing River during periods of heavy rainfall. To address this issue, a diversion channel was constructed in the upstream area of the Sikambing River with the aim of diverting flood discharge of 30 m<sup>3</sup>/s to the Belawan River. To assess the performance of the flood diversion channel, this study builds upon previous planning results through hydrological analysis and hydrodynamic modeling using HEC-RAS 2D, applied under design discharge conditions with return periods of 25, 50, and 100 years. The results of the study indicate that the performance of the diversion channel is capable of reducing the average flood discharge by 21.79%, reducing the average inundation area by 48.75%, decreasing the average flood occurrence time by 35.56%, and lowering the average flood depth by up to 0.21 m. Although this diversion channel is effective in reducing flood discharge under all conditions, there is a discrepancy of 4.75% from the previously planned flood discharge reduction. This study is expected to evaluate the performance of the diversion channel for flood control in the Sikambing River Basin in the city of Medan.

**Keywords:** Flood Control, Flood Diversion Channels, HEC-RAS 2D Modeling.

### **PENDAHULUAN**

Bencana banjir masih menjadi masalah utama di daerah perkotaan Indonesia. Salah satunya di Kota Medan Provinsi Sumatera Utara, dimana dalam rentang 10 tahun terakhir (2015 hingga 2024) telah terjadi 14 kejadian banjir yang berdampak pada 13.657 jiwa dan 1.389

<sup>1</sup> Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, FTSL, Institut Teknologi Bandung

<sup>2,3,4</sup> Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, FTSL, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup> Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum

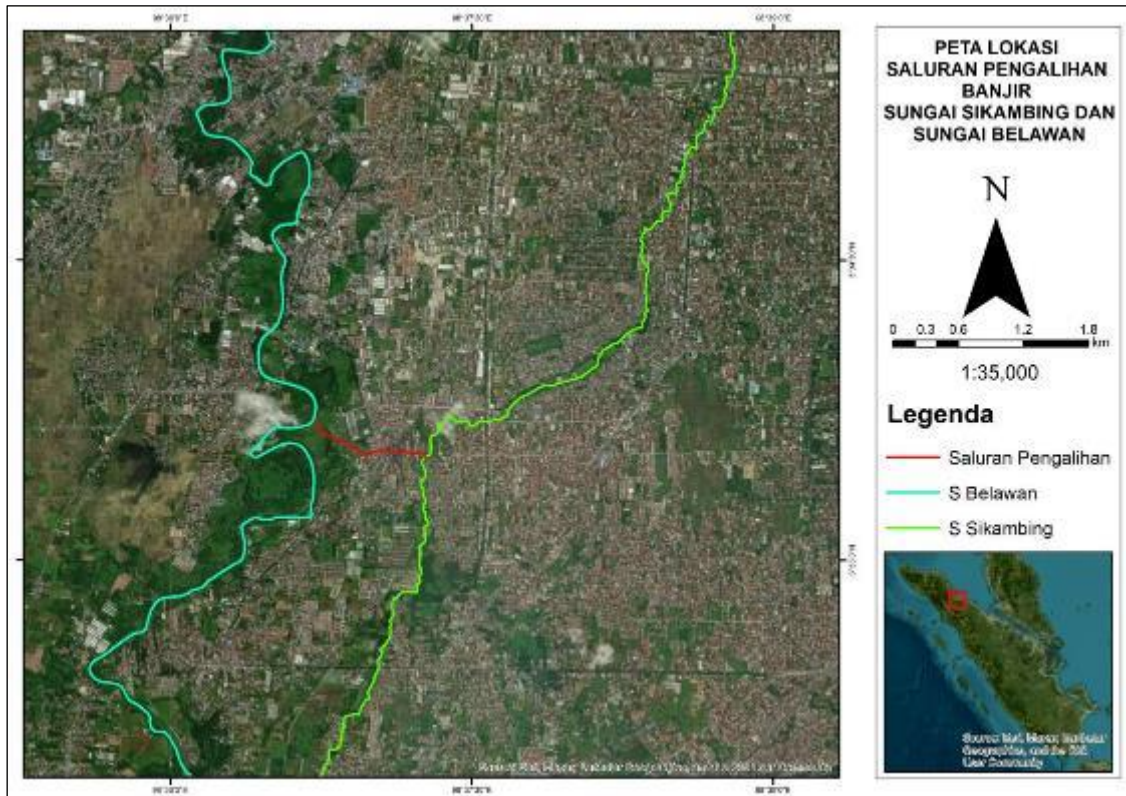
email: fiqih.julfachri@pu.go.id

rumah terendam banjir (DIBI., 2024). Hal ini mengindikasikan bahwa rata-rata kejadian banjir di Kota Medan dapat terjadi setiap tahunnya. Faktor penyebab kejadian banjir perkotaan meliputi curah hujan tinggi, pengembangan kawasan perkotaan, keadaan topografi, kurangnya daerah resapan, kurangnya kapasitas atau penyumbatan saluran drainase, serta kenaikan permukaan laut daerah hilir (Agonafir dkk., 2023; Singh dkk., 2023). Berbagai upaya dilakukan untuk pengendalian banjir perkotaan seperti normalisasi sungai, pembuatan tanggul (Udom, 2018), peningkatan sistem drainase (Fraiture dkk., 2017), pengoptimalan fungsi kolam retensi (Yulianti & Prasetyo, 2024), bahkan penerapan sistem pompa (Pratiwi dkk., 2020). Selanjutnya BWS Sumatera II Medan Kementerian Pekerjaan Umum sebagai salah satu lembaga yang berwenang dalam melakukan tugas pengendalian banjir di Kota Medan melaksanakan pembangunan saluran pengalihan debit di hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Sikambing untuk mereduksi banjir di daerah hilirnya yang masuk dalam bagian Kota Medan (BWS Sumatera II Medan, 2022).

Pengujian terhadap sistem saluran pengalihan debit untuk pengendalian banjir telah banyak direkomendasikan untuk diterapkan di daerah perkotaan baik saluran pengalihan dalam satu sungai yang biasanya ditempatkan di daerah meander sungai (Indrawati dkk., 2017), saluran pengalihan debit yang melibatkan dua sungai (Nugroho dkk., 2018), maupun sistem saluran pengalihan debit dalam jaringan sungai yang kompleks (Gopalan dkk., 2022). Perencanaan saluran pengalihan debit yang dilakukan oleh BWS Sumatera II Medan bertujuan mengalihkan sebagian debit hulu Sungai Sikambing yang berada pada DAS Sikambing ke Sungai Belawan yang berada pada DAS Belawan (BWS Sumatera II Medan, 2022). Dalam hal ini saluran pengalihan debit akan menghubungkan dua DAS yang memiliki karakteristik yang berbeda. Dengan kondisi ini maka analisis diperlukan untuk melihat bagaimana saluran pengalihan dan karakteristik DAS dapat saling mempengaruhi terhadap kondisi hidrologi yang akan terjadi (Yang dkk., 2022).

DAS Belawan memiliki luas sebesar 41.654,80 ha yang didominasi oleh lahan perkebunan (Slamet dkk., 2024) dimana debit banjir berkisar antara 582,33 m<sup>3</sup>/dtk hingga 718 m<sup>3</sup>/dtk dalam rentang periode ulang 25 tahun hingga 100 tahun (Zevri, 2018). Sementara DAS Sikambing sendiri memiliki luas 4.122 ha yang didominasi oleh kawasan permukiman padat penduduk dengan debit banjir berkisar antara 113,02 m<sup>3</sup>/dtk hingga 152,50 m<sup>3</sup>/dtk dalam rentang periode ulang 25 hingga 100 tahun (BWS Sumatera II Medan, 2022). Nilai debit dalam rentang probabilitas tersebut dapat saja berubah, jika terpengaruh perubahan tataguna lahan (Banjara dkk., 2024; Farid dkk., 2022; Sugianto dkk., 2022; Tarigan, 2016) ataupun terpengaruh oleh perubahan iklim (Ionno dkk., 2024; Tabari, 2020; Yamamoto dkk., 2021).

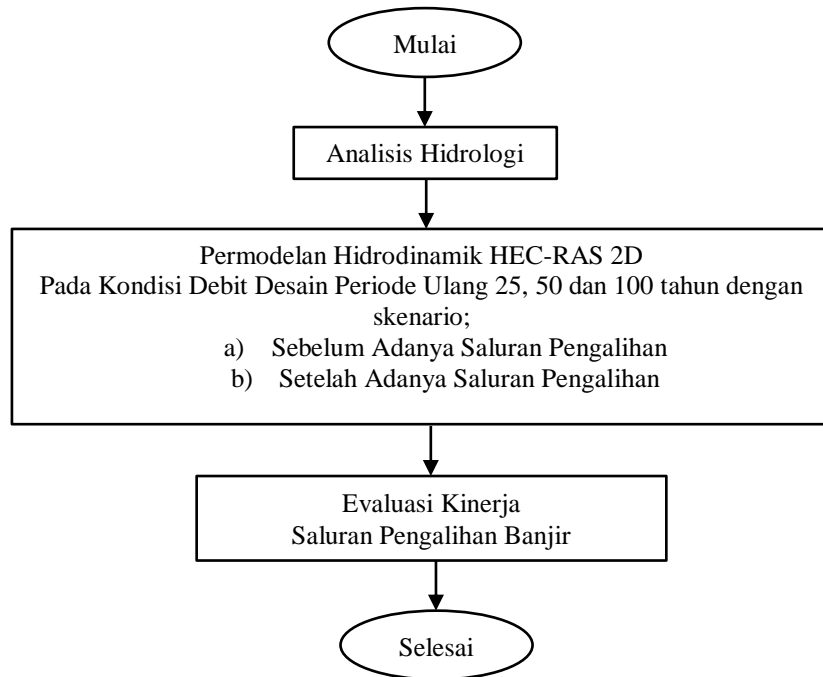
Pembangunan saluran pengarah yang dilaksanakan oleh BWS Sumatera II Medan sepanjang 1,2 km dengan rincian adanya bangunan bendung pelimpah pada bagian inlet saluran pengalihan yang terletak di Sungai Sikambing, sementara saluran pengalihan sendiri terdiri dari struktur box culvert dengan bentuk penampang persegi panjang yang memiliki lebar 3,5 m dan tinggi 3 m sepanjang 463 m dan saluran terbuka dengan bentuk penampang trapesium dengan lebar dasar 4,5 m, tinggi 3,5 m serta kemiringan penampang 1:1 sepanjang 650 m. Saluran pengalihan ini terletak di Jalan Pasar I menuju ke Jalan Bunga Raya Kota Medan hingga berakhir ke Sungai Belawan. Gambar 1 menunjukkan lokasi pembangunan saluran pengalihan. Dalam perencanaannya debit desain yang digunakan adalah debit desain periode ulang 25 tahun dengan rencana debit yang dialihkan sebesar 30 m<sup>3</sup>/dtk atau dapat mereduksi debit sebesar 26,54%, namun rencana saluran pengalihan tersebut belum mempertimbangkan kondisi debit pada DAS Belawan (BWS Sumatera II Medan, 2022). Pada dasarnya, perencanaan diversifikasi air antar DAS perlu mempertimbangkan perubahan yang terjadi terutama pada DAS penerima air (K. Wang dkk., 2019) bahkan DAS penyuplai dan penerima air harus ditinjau pada kondisi hidroklimatologisnya (Emanuel dkk., 2015). Walaupun kajian mengenai diversifikasi air antar DAS memiliki tinjauan yang lebih kompleks termasuk pada kajian ekologi (Zhuang, 2016), namun penelitian ini akan lebih berfokus pada pengujian kinerja saluran pengalihan dalam berbagai kondisi debit antar DAS dengan tujuan untuk melampaui hasil perencanaan sebelumnya yang hanya mempertimbangkan kondisi debit DAS penyuplai air. Sedangkan kajian mengenai perubahan kondisi hidrologi pada DAS penerima air akan menjadi fokus kami di penelitian selanjutnya.



Gambar 1. Lokasi Pembangunan Saluran Pengalihan Banjir

## METODE

Saluran pengalihan direncanakan untuk mereduksi debit banjir di hilir DAS Sikambang yang merupakan kawasan perkotaan Medan yang padat penduduk. Untuk menilai kinerja dari saluran pengalihan, analisis hidrologi dilakukan sebagai langkah awal untuk menentukan debit desain yang akan digunakan (Abadi dkk., 2020). Walaupun saat ini adanya penelitian terkait deskriptor DAS yang mengklasifikasikan DAS ke dalam kelompok yang homogen, namun tidak selalu diterjemahkan menjadi kesamaan dalam perilaku hidrologi (Tarasova dkk., 2024), karena penting untuk memahami jalur hidrologi dari hujan menjadi limpasan dalam setiap DAS yang ditinjau (Sterte dkk., 2021). Untuk melampaui hasil dari perencanaan sebelumnya terkait saluran pengalihan yang dilaksanakan oleh BWS Sumatera II Medan maka debit desain yang digunakan adalah debit dengan periode ulang 25, 50 dan 100 tahun yang akan dianalisis kembali pada DAS Sikambang dan DAS Belawan sebagai hasil transformasi hujan menjadi limpasan yang dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing DAS. Selanjutnya, analisis hidraulika diperlukan untuk meninjau respon sungai terhadap setiap debit yang terjadi. Pada saat curah hujan tinggi dapat menyebabkan banjir atau luapan di sekitar sungai, sehingga simulasi model hidrodinamik perlu dilakukan untuk menggambarkan interaksi antara limpasan hujan di sepanjang sungai (Teng dkk., 2017). Untuk mensimulasikan model hidrodinamik tersebut perangkat lunak HEC-RAS digunakan karena hasil dari perangkat lunak ini memiliki tingkat presisi yang tinggi dalam memprediksi area banjir selama peristiwa hidrologi ekstrim bahkan dalam input data yang terbatas (Zainal & Talib, 2024). Untuk menilai kinerja saluran pengalihan dibutuhkan kondisi awal atau kondisi sebelum adanya saluran pengalihan dan setelah adanya saluran pengalihan sehingga perubahan terkait reduksi banjir dapat diamati. Kondisi banjir yang akan diamati lebih didetailkan pada perubahan debit yang terjadi, luas area banjir, waktu kejadian banjir serta kedalaman banjir yang terjadi. Hal ini akan meningkatkan hasil penelitian terkait penilaian kinerja saluran pengalihan yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk itu diperlukan permodelan HEC-RAS dua dimensi (HEC-RAS 2D) agar perubahan debit, luas area banjir, waktu kejadian serta kedalaman banjir menjadi satu kesatuan utuh dalam hasil simulasi (Brunner dkk., 2024). Secara garis besar metode dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Dari setiap analisis yang dilakukan akan diterapkan kalibrasi untuk menyesuaikan hasil analisis terhadap kondisi lapangan yang sebenarnya. Lebih detailnya setiap analisis dijelaskan dalam subbab berikut.

#### 1. Analisis Hidrologi

Langkah awal dalam analisis hidrologi adalah dengan penentuan karakteristik DAS yang mencerminkan respon hidrologi terhadap daerah tangkapan hujan. Dengan pemanfaatan perangkat lunak HEC HMS versi 4.12 analisis awal dalam karakteristik DAS dengan mendelineasi daerah tangkapan hujan dapat dilakukan (Ansori dkk., 2023).

Dalam kondisi tidak tersedianya atau kurangnya data pencatatan debit maka perhitungan debit rencana dapat dilakukan dari data curah hujan yang ada (BSN, 2016). Metode ini akan digunakan untuk perhitungan debit rencana pada masing-masing DAS. Data curah hujan yang digunakan berasal dari tiga stasiun pengamatan hujan yang mempengaruhi kedua DAS yaitu stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah I Medan, Stasiun Geofisika Deli Serdang dan Stasiun Curah Hujan Sibolangit dimana data yang diinventarisasi dalam rentang periode 2007 hingga 2023. Data curah hujan dalam rentang periode ini akan dianalisis untuk membentuk curah hujan harian maksimum tahunan berdasarkan pengaruh poligon Thiessen yang dibentuk dari stasiun curah hujan (Arianti dkk., 2018). Analisis frekuensi diterapkan dengan berbagai fungsi distribusi probabilitas, yaitu distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III, guna menentukan curah hujan rencana untuk berbagai periode ulang. Pengujian distribusi probabilitas dilakukan untuk menemukan distribusi yang paling sesuai untuk digunakan. Curah hujan rencana yang terpilih selanjutnya dibentuk dengan intensitas selama 6 jam menggunakan metode PSA 007 (Balai Bendungan, 2017).

Berdasarkan data klasifikasi tanah yang bersumber dari Harmonized World Soil Database (HWSD) dan data tutupan lahan tahun 2022 yang bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), curah hujan rencana dianalisis untuk membentuk curah hujan efektif berdasarkan nilai abstraksi awal, nilai Curve Number serta nilai potensial penyimpanan maksimum pada DAS Sikambing dan DAS Belawan (X. Wang & Bi, 2020). Hasil hujan efektif ini akan ditransformasi menjadi debit desain periode ulang menggunakan perhitungan Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) (BSN, 2016; Natakusumah dkk., 2011, 2013). Untuk memilih hasil debit desain yang akan digunakan dari berbagai metode HSS yang telah dihitung, diterapkan kalibrasi dengan menganalisis nilai debit desain periode ulang 2 tahun yang mendekati dengan nilai debit penuh sungai (Naito & Parker, 2019; Sharifi dkk., 2021). Selanjutnya, debit desain periode ulang 25, 50, dan 100 tahun masing-masing DAS dari metode HSS yang telah terpilih

berdasarkan hasil kalibrasi akan digunakan sebagai kondisi batas pada permodelan HEC-RAS 2D.

## 2. Permodelan hidrodinamik

Perangkat lunak HEC-RAS masih sangat sesuai untuk digunakan dalam mensimulasikan dan menganalisis peristiwa banjir yang terjadi (Djafri dkk., 2024). Penelitian ini akan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.5 untuk permodelan hidrodinamik dua dimensi. Dalam membuat model dua dimensi, data dasar yang digunakan adalah data topografi dataran banjir dan saluran (Kaya & Üneş, 2025). Data topografi dataran banjir diperoleh dari survei yang menggunakan teknologi Light Detection and Ranging (LiDAR). Hal ini menguntungkan dalam permodelan nantinya karena hasil data tersebut akan membantu dalam keakuratan simulasi (Mihu-Pintilie dkk., 2019a). Hasil data topografi dataran banjir dan saluran digabungkan menjadi data Digital Elevation Model (DEM) yang utuh dan diinput ke dalam HEC-RAS. Selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran mesh yang akan digunakan agar efisiensi komputasi dapat tercapai tanpa menurunkan kualitas hasil simulasi (Kim dkk., 2014). Data lainnya yang harus diinput adalah nilai manning dataran banjir dan saluran sebagai bagian dari fungsi kecepatan aliran (Chow, 1959). Analisis tutupan lahan yang telah dilakukan sebelumnya akan menentukan nilai manning dataran banjir, sedangkan nilai manning saluran diperoleh dari analisis debit penuh sungai yang telah terkalibrasi (Liu dkk., 2019; Mattas dkk., 2023).

Sebelum melakukan simulasi, penting untuk menentukan nilai Courant sebagai langkah waktu simulasi agar tercapai stabilitas dalam simulasi (Brunner dkk., 2024). Langkah penentuan nilai courant berdasarkan persamaan 1.

$$C = \frac{v\Delta T}{\Delta x} \leq 1.0 \text{ (with } C_{\max} = 3.0) \quad (1)$$

Dimana, C adalah angka Courant, v adalah kecepatan gelombang banjir (m/dtk),  $\Delta T$  adalah langkah waktu komputasi (dtk), dan  $\Delta x$  adalah ukuran sel rata-rata (m) (Mihu-Pintilie dkk., 2019b).

Dalam simulasi ini akan menggunakan analisis aliran tidak stabil (unsteady flow), dimana dalam proses komputasinya menerapkan persamaan Saint Venant (persamaan 2) yang mencakup persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Selain itu pemilihan persamaan diffusion wave (persamaan 3 dan 4) juga diterapkan.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) = - \frac{n^2 pg \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} - gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + pf + \frac{\partial}{\rho \partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\rho \partial y} (h\tau_{xy}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) = - \frac{n^2 qg \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} - gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + qf + \frac{\partial}{\rho \partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\rho \partial x} (h\tau_{xy}) \quad (4)$$

Dimana, h adalah kedalaman air (m), p dan q adalah aliran spesifik dalam arah x dan y ( $m^2/dtk$ ),  $\zeta$  adalah elevasi permukaan (m), g adalah percepatan akibat gravitasi ( $m/dtk^2$ ), n adalah koefisien kekasaran Manning ( $m^{-1/3}dtk$ ),  $\rho$  adalah densitas air ( $kg/m^3$ ),  $\tau_{xx}$ ,  $\tau_{yy}$ , dan  $\tau_{xy}$  adalah komponen dari tegangan geser efektif, dan f adalah Coriolis ( $dtk^{-1}$ ). Ketika diffusion wave diterapkan, maka suku inersia dari persamaan momentum (persamaan 3 dan 4) terabaikan (Mihu-Pintilie dkk., 2019b; Muthusamy dkk., 2019).

Selanjutnya pengaturan kondisi batas hulu yang akan diterapkan pada Sungai Sikambang dan Sungai Belawan merupakan aliran debit desain pada masing-masing kondisi (periode ulang 25, 50, dan 100 tahun) dan kondisi batas hilir sungai mengikuti kedalaman normal masing-masing sungai. Selain itu pengaturan komputasi, seperti interval perhitungan, interval keluaran hidrograf, interval keluaran peta, dan interval keluaran detail, perlu ditentukan untuk keperluan hasil simulasi (Vashist & Singh, 2023). Untuk menganalisis, terlebih dahulu dilakukan simulasi

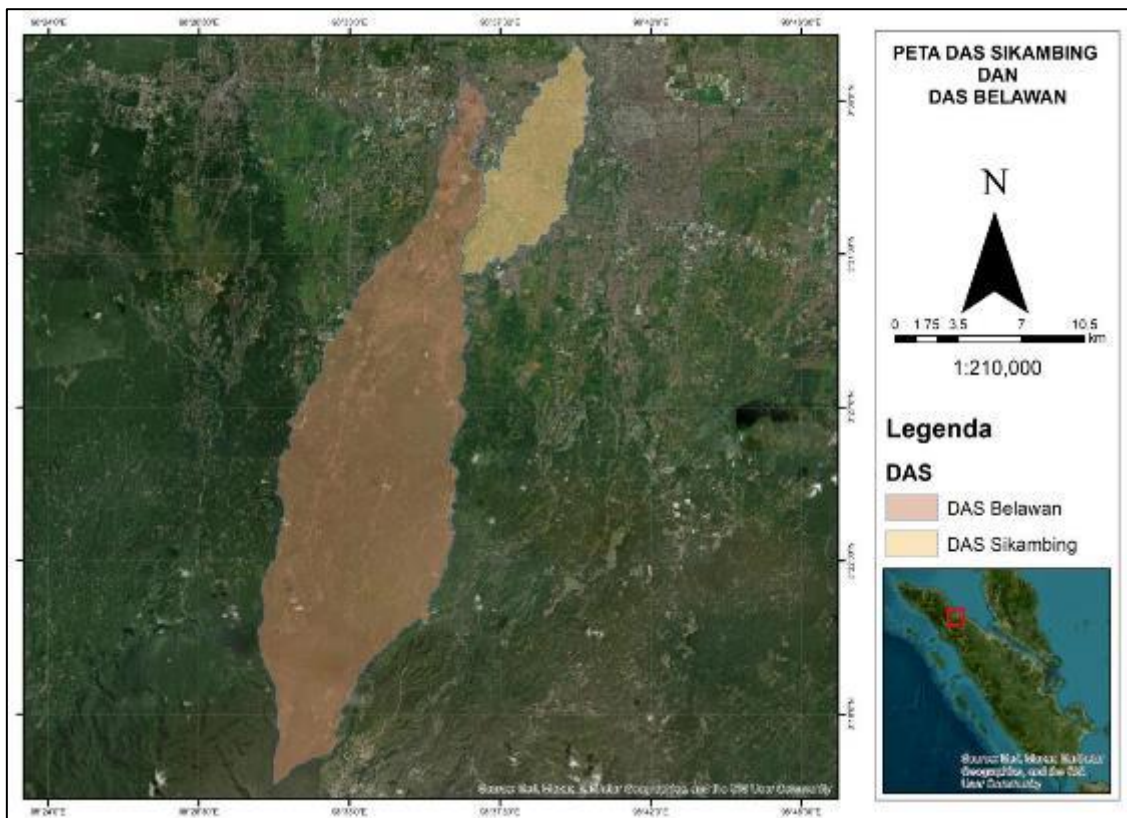
awal untuk mengkalibrasi hasil simulasi tersebut dengan data observasi yang telah dilakukan agar mencapai akurasi dalam analisis pemodelan banjir (Zeiger & Hubbart, 2021) sehingga dapat dilanjutkan pada simulasi berikutnya. Setelah hasil simulasi awal telah terkalibrasi dilanjutkan pada simulasi dengan 2 skenario pada kondisi debit desain periode ulang 25, 50, dan 100 tahun yaitu ; (a) Skenario sebelum adanya saluran pengalihan banjir, dan (b) Skenario setelah adanya saluran pengalihan banjir.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Hasil Analisis Hidrologi**

Berdasarkan hasil delineasi, DAS Sikambang mencakup luas 41,22 km<sup>2</sup>, sedangkan hasil delineasi DAS Belawan yang digunakan hanya berdasarkan luasan daerah tangkapan hujan yang akan mempengaruhi salurah pengalihan yaitu seluas 227,96 km<sup>2</sup>. Gambar 3 menunjukkan hasil delineasi DAS Sikambang dan DAS Belawan.

Dari ketiga stasiun curah hujan yang diamati membetuk luas pengaruh poligon thiesen yaitu, stasiun BMKG Wilayah I Medan dengan luasan pengaruh sebesar 22,65%, Stasiun Geofisika Deli Serdang dengan luasan pengaruh 27,30% dan Stasiun Sibolangit dengan luasan pengaruh 50,05%. Hasil menunjukkan hujan harian maksimum tahunan yang terbentuk dari periode 2007 hingga 2023 sangat bervariasi antara 39,17 mm hingga 113,81 mm.



Gambar 3. Hasil Delineasi DAS Sikambang dan DAS Belawan

Dalam penelitian ini, analisis distribusi frekuensi dan pengujiannya menghasilkan metode Log Pearson Tipe III yang digunakan untuk membentuk hujan rencana dengan periode ulang tertentu. Hujan rencana yang diperoleh kemudian dikonversi kedalam intensitas hujan selama 6 jam menggunakan metode PSA 007. Selanjutnya, hujan rencana yang telah terbentuk dianalisis untuk menentukan curah hujan efektif. Analisis ini mempertimbangkan nilai Abstraksi Awal (Ia) sebesar 8,31 mm dan Curve Number (CN) sebesar 85,94, serta nilai Potensi Penyimpanan Maksimum (S) sebesar 41,54 mm untuk DAS Sikambang. Sedangkan, untuk DAS Belawan, nilai Abstraksi Awal (Ia) tercatat sebesar 22,27 mm, dengan Curve Number (CN) sebesar 69,52, dan Potensi Penyimpanan Maksimum (S) sebesar 111,34 mm. Perbedaan nilai-nilai ini dipengaruhi oleh tataguna lahan dan jenis tanah yang berbeda antara kedua DAS. Hujan efektif untuk masing-masing periode ulang disajikan dalam Tabel 1.

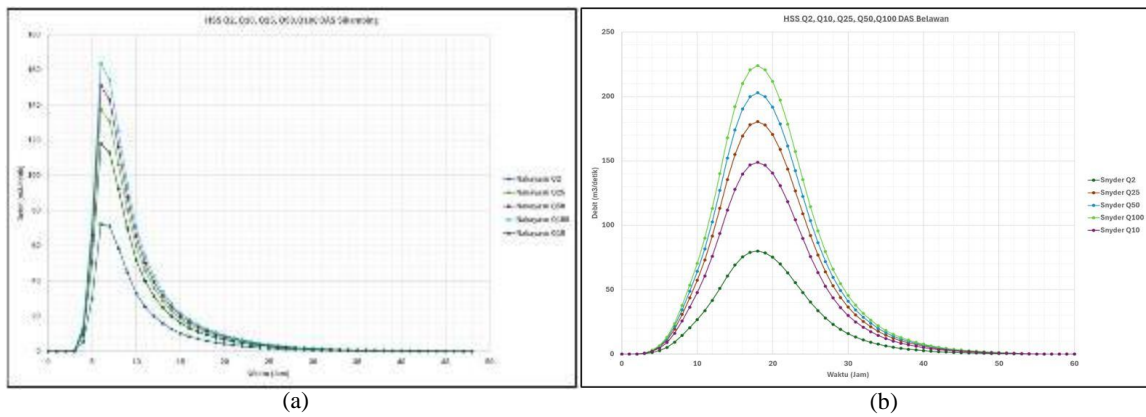
Hasil curah hujan efektif yang diperoleh dari analisis sebelumnya ditransformasi menjadi debit desain menggunakan beberapa metode Hidrograf Sintetik (HSS), yaitu HSS Nakayasu, Snyder, SCS, ITB-1, dan ITB-2. Dari hasil perhitungan debit desain yang dihasilkan oleh berbagai metode tersebut, HSS Nakayasu dipilih untuk diterapkan pada DAS Sikambang, sedangkan HSS Snyder dipilih untuk DAS Belawan. Pemilihan metode ini didasarkan pada nilai debit desain untuk periode ulang 2 tahun yang paling mendekati terhadap nilai debit penuh sungai. Debit penuh sungai Sikambang tercatat sebesar 87,58 m<sup>3</sup>/dtk, sedangkan debit penuh sungai Belawan mencapai 94,70 m<sup>3</sup>/dtk. Hasil analisis debit desain yang terpilih ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 4 yang menunjukkan perbandingan nilai debit desain untuk masing-masing DAS.

Tabel 1. Hujan Efektif DAS Belawan dan DAS Sikambang

t (jam)	Hujan Efektif (mm)				
	Periode Ulang (Tahun)				
	2	10	25	50	100
<b>DAS Belawan</b>					
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	7.44	17.07	21.75	25.11	28.33
4	5.26	9.34	11.10	12.32	13.45
5	2.22	3.80	4.48	4.94	5.37
6	1.15	1.95	2.29	2.53	2.74
<b>Total</b>	<b>16.07</b>	<b>32.16</b>	<b>39.62</b>	<b>44.90</b>	<b>49.89</b>
<b>DAS Sikambang</b>					
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.16	0.94	1.41	1.78	2.14
3	24.55	40.35	47.06	51.64	55.89
4	9.44	14.00	15.87	17.13	18.29
5	3.67	5.38	6.08	6.55	6.98
6	1.86	2.71	3.06	3.29	3.51
<b>Total</b>	<b>39.68</b>	<b>63.38</b>	<b>73.48</b>	<b>80.39</b>	<b>86.81</b>

Tabel 2. Debit Desain DAS Sikambang dan DAS Belawan

Periode Ulang (T)	Debit Puncak (Qp) HSS (m <sup>3</sup> /dtk)	
	DAS Sikambang	DAS Belawan
	HSS Nakayasu	HSS Snyder
2	72.20	80.00
10	117.98	148.90
25	137.58	180.50
50	151.03	202.90
100	163.55	224.00



Gambar 4. (a) HSS pada DAS Sikambang dan (b) HSS pada DAS Belawan

## 2. Hasil Permodelan Hidrodinamik HEC-RAS 2D

Persiapan model dilakukan dengan menginput data Digital Elevation Model (DEM) yang mencakup topografi dataran banjir dan sungai ke dalam perangkat lunak HEC-RAS. Dalam model ini, Sungai Belawan, Sungai Sikambang dan dua anak sungainya, yaitu Sungai Selayang dan Sungai Siputih, turut dimodelkan untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dinamika aliran di kawasan tersebut. Selain itu, model juga mencakup penambahan struktur saluran pengalihan, yang dirancang untuk menjalankan simulasi dua skenario yang telah dijelaskan dalam metode penelitian. Pemilihan jenis mesh yang dilakukan di mana ukuran mesh pada dataran banjir ditetapkan sebesar 20 m, sedangkan ukuran mesh pada sungai ditentukan sebesar 3 m. Penentuan ukuran ini bertujuan untuk mencapai efisiensi komputasi yang optimal tanpa menurunkan kualitas hasil simulasi. Selanjutnya, penginputan nilai Manning dilakukan berdasarkan analisis tutupan lahan di DAS Sikambang, yang menunjukkan bahwa 99,06% dari area tersebut merupakan kawasan permukiman. Hal ini menghasilkan nilai Manning sebesar 0,05 untuk dataran banjir. Untuk sungai, nilai Manning ditentukan berdasarkan analisis debit penuh Sungai Sikambang yang diperoleh sebesar 0,035 sedangkan analisis debit penuh sungai Belawan diperoleh nilai Manning sebesar 0,030. Sementara itu, nilai Manning untuk saluran pengalihan ditetapkan sebesar 0,014, sesuai dengan karakteristik struktur saluran pengalihan yang terbuat dari beton bertulang. Dengan pengaturan ini, model diharapkan dapat memberikan hasil simulasi yang akurat dan representatif terhadap penilaian kinerja saluran pengalihan dalam mereduksi debit banjir pada DAS Sikambang.

Setelah pengaturan komputasi diterapkan, simulasi awal dilakukan dengan menggunakan debit desain periode ulang 10 tahun sebesar 117,98 m<sup>3</sup>/dtk. Kalibrasi ini didasarkan pada pendekatan data observasi kejadian banjir yang terjadi pada tanggal 23 November 2021, dengan debit sebesar 114 m<sup>3</sup>/dtk. Hasil simulasi awal menunjukkan bahwa model dapat merepresentasikan kondisi banjir yang mendekati data observasi, dengan terjadinya genangan di 14 titik yang tersebar di Kecamatan Medan Barat, Medan Helvetiah, Medan Petisah, Medan Sunggal, Medan Baru, dan Medan Selayang, dengan kedalaman banjir berkisar antara 0,2 m hingga 1 m. Hasil ini menunjukkan bahwa model yang digunakan dapat diterapkan untuk menjalankan dua skenario yang telah ditentukan.

Pada skenario sebelum adanya saluran pengalihan, hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi debit desain periode ulang 25 tahun, luasan banjir mencapai 1,61 km<sup>2</sup> dengan waktu kejadian selama 6 jam dan kedalaman banjir berkisar antara 0,2 hingga 1,08 m. Pada kondisi debit desain periode ulang 50 tahun, luasan banjir meningkat menjadi 2,15 km<sup>2</sup> dengan waktu kejadian 7,37 jam dan kedalaman banjir antara 0,2 hingga 1,14 m. Sementara itu, pada kondisi debit desain periode ulang 100 tahun, luasan banjir mencapai 2,69 km<sup>2</sup> dengan waktu kejadian 8,17 jam dan kedalaman banjir berkisar antara 0,2 hingga 1,23 m.

Setelah adanya saluran pengalihan, hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi debit desain periode ulang 25 tahun, saluran pengalihan dapat mengalirkan debit sebesar 30,69 m<sup>3</sup>/dtk, yang menghasilkan reduksi debit banjir sebesar 22,30%, reduksi luas genangan sebesar 48,45%, reduksi waktu kejadian banjir sebesar 33,33%, serta kedalaman banjir maksimal mencapai 0,82 m. Pada kondisi debit desain periode ulang 50 tahun, saluran pengalihan dapat mengalirkan debit sebesar 33,05 m<sup>3</sup>/dtk, dengan reduksi debit banjir sebesar 21,88%, reduksi



luas genangan sebesar 50,23%, reduksi waktu kejadian banjir sebesar 36,64%, dan kedalaman banjir maksimal mencapai 0,94 m. Sedangkan pada kondisi debit desain periode ulang 100 tahun, saluran pengalihan dapat mengalirkan debit sebesar 34,65 m<sup>3</sup>/dtk, menghasilkan reduksi debit banjir sebesar 21,19%, reduksi luas genangan sebesar 47,58%, reduksi waktu kejadian banjir sebesar 36,72%, serta kedalaman banjir maksimal mencapai 1,05 m. Secara keseluruhan, hasil reduksi ini ditunjukkan pada Tabel 3-7 dan Gambar 5-7.

Tabel 3. Kapasitas Saluran Pengalihan di Berbagai Kondisi

Kondisi	Kapasitas Saluran Pengalihan (m <sup>3</sup> /dtk)
Q <sub>25</sub>	30.69
Q <sub>50</sub>	33.05
Q <sub>100</sub>	34.65
<b>Rata-Rata</b>	<b>32.80</b>

Tabel 4. Hasil Reduksi Debit Banjir

Kondisi	Debit Puncak DAS Sikambang Sebelum Adanya Saluran Pengalihan (m <sup>3</sup> /dtk)	Debit Puncak DAS Sikambang Setelah Adanya Saluran Pengalihan (m <sup>3</sup> /dtk)	Reduksi Debit Banjir (%)
Q <sub>25</sub>	137.58	106.90	22.30
Q <sub>50</sub>	151.03	117.98	21.88
Q <sub>100</sub>	163.55	128.90	21.19
<b>Rata-Rata</b>			<b>21.79</b>

Tabel 5. Hasil Reduksi Luas Genangan Banjir

Kondisi	Luas Genangan Banjir Sebelum Adanya Floodway (km <sup>2</sup> )	Luas Genangan Banjir Setelah Adanya Floodway (km <sup>2</sup> )	Reduksi Luas Genangan (%)
Q <sub>25</sub>	1.61	0.83	48.45
Q <sub>50</sub>	2.15	1.07	50.23
Q <sub>100</sub>	2.69	1.41	47.58
<b>Rata-Rata</b>			<b>48.75</b>

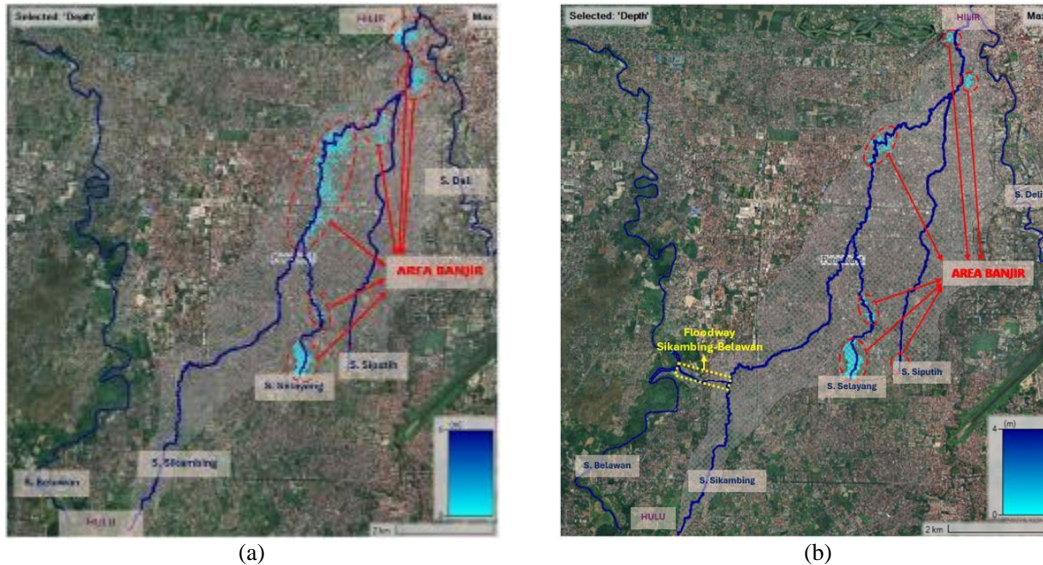
Tabel 6. Hasil Reduksi Waktu Kejadian Banjir

Kondisi	Waktu Kejadian Banjir Sebelum Adanya Floodway	Waktu Kejadian Banjir Setelah Adanya Floodway	Reduksi Waktu Kejadian Banjir
	(jam)	(jam)	(%)
Q <sub>25</sub>	6.00	4.00	33.33
Q <sub>50</sub>	7.37	4.67	36.64
Q <sub>100</sub>	8.17	5.17	36.72
<b>Rata-Rata</b>			<b>35.56</b>

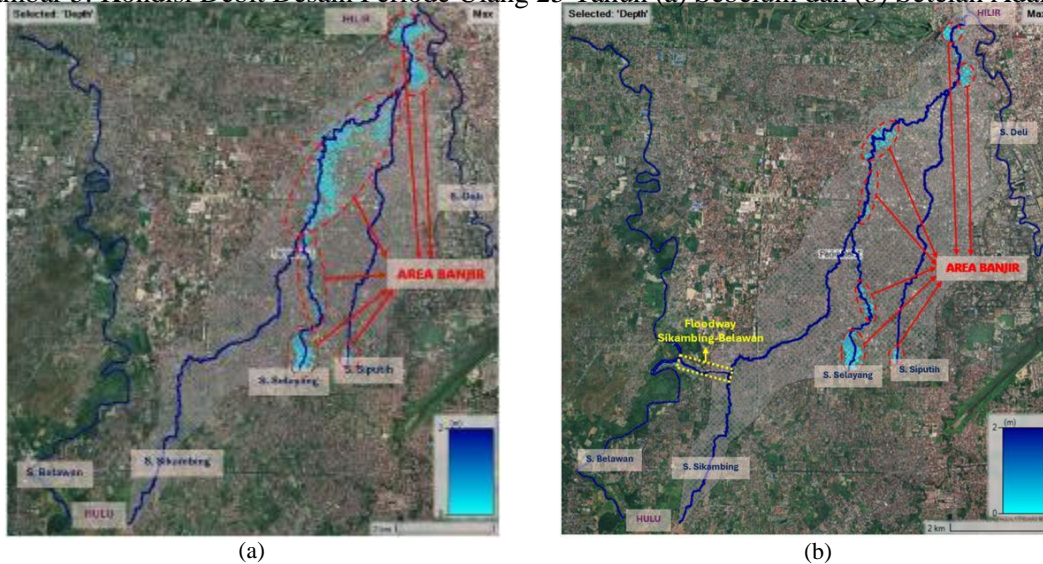
Tabel 7. Hasil Reduksi Kedalaman Banjir

Kondisi	Kedalaman Banjir Sebelum Adanya Floodway	Kedalaman Banjir Setelah Adanya Floodway
	(m)	(m)
Q <sub>25</sub>	0.2 - 1.08	0.2 - 0.82

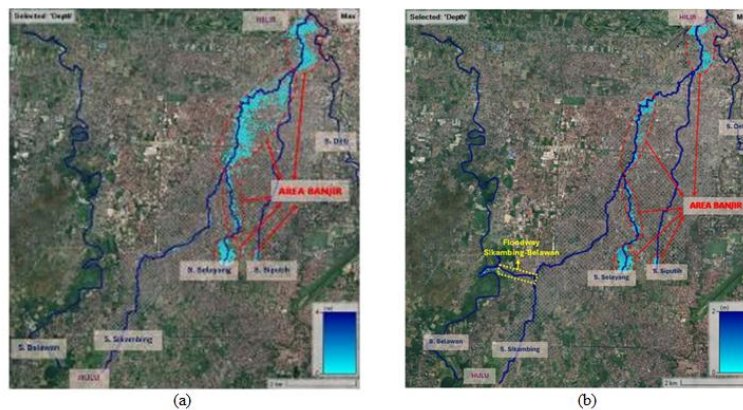
Q <sub>50</sub>	0.2 - 1.14	0.2 - 0.94
Q <sub>100</sub>	0.2 - 1.23	0.2 - 1.05
<b>Rata-Rata Kedalaman Banjir Berkurang Hingga 0.21 m</b>		



Gambar 5. Kondisi Debit Desain Periode Ulang 25 Tahun (a) Sebelum dan (b) Setelah Adanya



Gambar 6. Kondisi Debit Desain Periode Ulang 50 Tahun (a) Sebelum dan (b) Setelah Adanya



Dari hasil simulasi dengan skenario setelah adanya saluran pengalihan, masih terdapat genangan banjir pada area hilir Sungai Sikambang. Fenomena ini disebabkan oleh fakta bahwa reduksi debit yang dihasilkan oleh saluran pengalihan masih melebihi debit penuh sungai atau

Gambar 7. Kondisi Debit Desain Periode Ulang 100 Tahun (a) Sebelum dan (b) Setelah Adanya Saluran Pengalihan

kapasitas Sungai Sikambing yang sebesar 87,58 m<sup>3</sup>/dtk pada semua kondisi yang diuji. Meskipun demikian, dalam kondisi debit desain hingga periode ulang 100 tahun, saluran pengalihan berhasil mereduksi rata-rata debit sebesar 21,79%, rata-rata reduksi luas genangan banjir sebesar 48.75%, rata-rata reduksi waktu kejadian banjir sebesar 35.56%, dan rata-rata penurunan kedalaman banjir hingga 0,21 m. Selain itu nilai reduksi debit hasil penelitian ini menunjukkan selisih sebesar 4,75% dari nilai reduksi yang direncanakan untuk saluran pengalihan yaitu sebesar 26,54%.

## SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil analisis memberikan pemahaman yang lebih mendetail dari perencanaan awal saluran pengalihan dalam mereduksi debit banjir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Sikambing, yang sebelumnya hanya mempertimbangkan kondisi debit desain periode ulang 25 tahun tanpa memperhitungkan aliran debit pada Sungai Belawan. Penilaian kinerja saluran pengalihan yang ditingkatkan hingga pada debit desain periode ulang 100 tahun menunjukkan bahwa saluran tersebut masih mampu mereduksi debit banjir, meskipun terdapat selisih sebesar 4,75% dari nilai reduksi debit yang direncanakan. Selain itu, kondisi di area hilir Sungai Sikambing masih mengalami genangan banjir, disebabkan oleh reduksi debit yang dihasilkan akibat adanya saluran pengalihan masih melebihi kapasitas penuh Sungai Sikambing. Penelitian selanjutnya penting untuk dilakukan pada analisis pengaruh debit yang dialirkan ke Sungai Belawan terhadap kondisi hidrologinya. Selain itu, penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengevaluasi pengendalian banjir setelah pembangunan saluran pengalihan guna meningkatkan efektivitas pengelolaan sumber daya air di wilayah tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Selain itu, kami juga berterimakasih kepada Balai Sungai Wilayah Sumatera II di Medan atas kontribusi dalam menyediakan data yang sangat diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A. W., Astuti, B. I. D., Kurniasari, Siahaan, Y. V. O., Jamil, U. A., Widyaningrum, W., Jatti, A. P., Putri, N. H., Astabella, R. D., Pratiwi, C. B. I., Ayumi, N., Hayat, D. M., Putra, J. H., & Putri, R. F. (2020). Study of design discharge and river capacity in Celeng Sub-watershed, Special Region of Yogyakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 451(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/451/1/012075>
- Agonafir, C., Lakhankar, T., Khanbilvardi, R., Krakauer, N., Radell, D., & Devineni, N. (2023). A review of recent advances in urban flood research. Dalam *Water Security* (Vol. 19). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2023.100141>
- Ansori, M. B., Lasminto, U., & Kartika, A. A. G. (2023). FLOOD HYDROGRAPH ANALYSIS USING SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH, HEC-HMS, AND HEC-RAS 2D UNSTEADY FLOW PRECIPITATION ON-GRID MODEL FOR DISASTER RISK MITIGATION. *International Journal of GEOMATE*, 25(107), 50–58. <https://doi.org/10.21660/2023.107.3719>
- Arianti, I., Soemarno, A.W, H., & R. Sulistyono. (2018). RAINFALL ESTIMATION BY USING THIESSEN POLYGONS, INVERSE DISTANCE WEIGHTED, SPLINE, AND KRIGING METHODS: A CASE STUDY IN PONTIANAK, WEST KALIMANTAN. *International Journal of Education and Research*, 6(11). [www.ijern.com](http://www.ijern.com)
- Balai Bendungan. (2017). Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian PUPR.
- Banjara, M., Bhusal, A., Ghimire, A. B., & Kalra, A. (2024). Impact of Land Use and Land Cover Change on Hydrological Processes in Urban Watersheds: Analysis and Forecasting for Flood Risk Management. *Geosciences* (Switzerland), 14(2). <https://doi.org/10.3390/geosciences14020040>
- Brunner, G. W., Ackerman, C. T., & Goodell, C. R. (2024). HEC-RAS River Analysis System HEC-RAS User's Manual Version 6.5.

- BSN. (2016). SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana. Badan Standardisasi Nasional. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- BWS Sumatera II Medan. (2022). Preparation of Belawan – Deli – Percut - Padang River Basins Flood Management Project in North Sumatera Province. BWS Sumatera II Medan.
- Chow, V. Te. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw Hill Book Company.
- DIBI. (t.t.). Daftar Informasi Bencana Indonesia (DIBI) Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Djafri, S. A., Cherhabil, S., Hafnaoui, M. A., & Madi, M. (2024). Flood modeling using HEC-RAS 2D and IBER 2D: a comparative study. *Water Supply*. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.184>
- Emanuel, R. E., Buckley, J. J., Caldwell, P. V., McNulty, S. G., & Sun, G. (2015). Influence of basin characteristics on the effectiveness and downstream reach of interbasin water transfers: Displacing a problem. *Environmental Research Letters*, 10(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124005>
- Yulianti, E., & Prasetyo, E. (2024). OPTIMIZATION OF RETENTION POND IN FLOOD CONTROL EFFORTS IN PEKANBARU (URBAN FLOOD SYSTEM IMPROVEMENT PROJECT). *International Journal of Social Science*, 3(5), 561–580. <https://doi.org/10.53625/ijss.v3i5.7425>
- Farid, M., Pratama, M. I., Kuntoro, A. A., Adityawan, M. B., Rohmat, F. I. W., & Moe, I. R. (2022). Flood Prediction due to Land Cover Change in the Ciliwung River Basin. *International Journal of Technology*, 13(2), 356–366. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i2.4662>
- Fraiture, C. de, Susanto, R. H., Suryadi, F. X., & Wahyu, H. M. H. (2017). Urban Drainage Management and Flood Control Improvement Using the Dufrow Case Study: Aur Sub Catchment, Palembang, South Sumatra, Indonesia. *Makara Journal of Technology*, 21(2), 83. <https://doi.org/10.7454/mst.v21i2.3085>
- Indrawati, D., Hadihardaja, I. K., Adityawan, M. B., Pahrizal, S. F., & Taufik, F. (2017). Diversion Canal to Decrease Flooding (Case Study: Kebon Jati-Kalibata Segment, Ciliwung River Basin). *MATEC Web of Conferences*, 147. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814703006>
- Ionno, A., Arsenault, R., Troin, M., Martel, J. L., & Brissette, F. (2024). Impacts of climate change on flood volumes over North American catchments. *Journal of Hydrology*, 630. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130688>
- Kaya, Y. Z., & Üneş, F. (2025). Comparison of three different satellite data on 2D flood modeling using HEC-RAS (5.0.7) software and investigating the improvement ability of the RAS Mapper tool. *Journal of Flood Risk Management*, 18(1). <https://doi.org/10.1111/jfr3.13046>
- Kim, B., Sanders, B. F., Schubert, J. E., & Famiglietti, J. S. (2014). Mesh type tradeoffs in 2D hydrodynamic modeling of flooding with a Godunov-based flow solver. *Advances in Water Resources*, 68, 42–61. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.02.013>
- Liu, Z., Merwade, V., & Jafarzadegan, K. (2019). Investigating the role of model structure and surface roughness in generating flood inundation extents using one- and two-dimensional hydraulic models. *Journal of Flood Risk Management*, 12(1). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12347>
- Mattas, C., Karpouzou, D., Georgiou, P., & Tsapanos, T. (2023). Two-Dimensional Modelling for Dam Break Analysis and Flood Hazard Mapping: A Case Study of Papadia Dam, Northern Greece. *Water (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/w15050994>
- Mihu-Pintilie, A., Cîmpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. (2019a). Using high-density LiDAR data and 2D streamflow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps: A HEC-RAS multi-scenario approach. *Water (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/w11091832>
- Mihu-Pintilie, A., Cîmpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. (2019b). Using high-density LiDAR data and 2D streamflow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps: A HEC-RAS multi-scenario approach. *Water (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/w11091832>

- Muthusamy, M., Casado, M. R., Salmoral, G., Irvine, T., & Leinster, P. (2019). A remote sensing based integrated approach to quantify the impact of fluvial and pluvial flooding in an urban catchment. *Remote Sensing*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/rs11050577>
- Naito, K., & Parker, G. (2019). Can Bankfull Discharge and Bankfull Channel Characteristics of an Alluvial Meandering River be Cospecified From a Flow Duration Curve? *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(10), 2381–2401. <https://doi.org/10.1029/2018JF004971>
- Natakusumah, D. K., Hamoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 18(3).
- Natakusumah, D. K., Harlan, D., & Hatmoko, W. (2013). A new synthetic unit hydrograph computation method based on the mass conservation principle. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 172, 27–38. <https://doi.org/10.2495/RBM130031>
- Nugroho, J., Soekarno, I., & Harlan, D. (2018). Model of Ciliwung River Flood Diversion Tunnel Using HEC-RAS Software. *MATEC Web of Conferences*, 147. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814703001>
- Gopalan, S. P., Champathong, A., Sukhapunnaphan, T., Nakamura, S., & Hanasaki, N. (2022). Inclusion of flood diversion canal operation in the H08 hydrological model with a case study from the Chao Phraya River basin: model development and validation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(9), 2541–2560. <https://doi.org/10.5194/hess-26-2541-2022>
- Pratiwi, V., Yakti, B. P., & Widyanto, B. E. (2020). Flood Control Reduction Analysis using HEC-RAS due to Local Floods in Central Jakarta. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 879(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/879/1/012167>
- Sharifi, M., Tabatabai, M. R. M., & Najafabadi, S. H. G. (2021). Determination of river design discharge (Tar river case study). *Journal of Water and Climate Change*, 12(2), 612–626. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.278>
- Singh, H., Nielsen, M., & Greatrex, H. (2023). Causes, impacts, and mitigation strategies of urban pluvial floods in India: A systematic review. *Dalam International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 93). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103751>
- Slamet, B., Nababan, A. M., & Anggraini, N. (2024). Prediction of land cover change in the Belawan watershed using the cellular automata-markov chain model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1352(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1352/1/012050>
- Sterte, E. J., Lidman, F., Lindborg, E., Sjöberg, Y., & Laudon, H. (2021). How catchment characteristics influence hydrological pathways and travel times in a boreal landscape. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(4), 2133–2158. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2133-2021>
- Sugianto, S., Deli, A., Miswar, E., Rusdi, M., & Irham, M. (2022). The Effect of Land Use and Land Cover Changes on Flood Occurrence in Teunom Watershed, Aceh Jaya. *Land*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/land11081271>
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Tarasova, L., Gnann, S., Yang, S., Hartmann, A., & Wagener, T. (2024). Catchment characterization: Current descriptors, knowledge gaps and future opportunities. *Dalam Earth-Science Reviews* (Vol. 252). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104739>
- Tarigan, S. D. (2016). Land Cover Change and its Impact on Flooding Frequency of Batanghari Watershed, Jambi Province, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.089>
- Teng, F., Shen, Q., Huang, W., Ginis, I., & Cai, Y. (2017). Characteristics of river flood and storm surge interactions in a tidal river in Rhode Island, USA. *Procedia IUTAM*, 25, 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2017.09.009>
- Udom, N. (2018). Evaluation of Flood Risk Reduction Project at Tenggang River, Semarang City, Central Java Province, Indonesia. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 4(2).
- Vashist, K., & Singh, K. K. (2023). HEC-RAS 2D modeling for flood inundation mapping: a case study of the Krishna River Basin. *Water Practice and Technology*, 18(4), 831–844. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.048>

- Wang, K., Wang, Z., Liu, K., Cheng, L., Wang, L., & Ye, A. (2019). Impacts of the eastern route of the South-to-North Water Diversion Project emergency operation on flooding and drainage in water-receiving areas: An empirical case in China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(3), 555–570. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-555-2019>
- Wang, X., & Bi, H. (2020). The effects of rainfall intensities and duration on SCS-CN model parameters under simulated rainfall. *Water (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/W12061595>
- Yamamoto, K., Sayama, T., & Apip. (2021). Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>
- Yang, J., Xu, C., Ni, X., & Zhang, X. (2022). Study on Urban Rainfall–Runoff Model under the Background of Inter-Basin Water Transfer. *Water (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/w14172660>
- Zainal, N. N., & Talib, S. H. A. (2024). Review paper on applications of the HEC-RAS model for flooding, agriculture, and water quality simulation. *Dalam Water Practice and Technology (Vol. 19, Nomor 7, hlm. 2883–2900)*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.173>
- Zeiger, S. J., & Hubbart, J. A. (2021). Measuring and modeling event-based environmental flows: An assessment of HEC-RAS 2D rain-on-grid simulations. *Journal of Environmental Management*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112125>
- Zevri, A. (2018). ANALISIS TINGGI MUKA AIR BANJIR DAS BELAWAN DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE HECRAS. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 7(1).
- Zhuang, W. (2016). Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 12867–12879. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6854-3>